

# Inhalt

## Vorwort zur 2. Auflage — V

- 1      Einleitung — 1**
- 2      Differentialgleichungen erster Ordnung — 8**
- 3      Homogene und inhomogene lineare Differentialgleichung erster Ordnung — 12**
- 4      Der funktionale Zusammenhang zweier physikalischer Größen — 15**
  - 4.1      Potentielles Wachstum — 15
  - 4.2      Exponentielles Wachstum — 17
  - 4.3      Exponentiell beschränktes Wachstum — 18
  - 4.4      Logistisches Wachstum — 20
- 5      Kompartimentmodelle — 25**
- 6      Numerisches Lösen von Differentialgleichungen erster Ordnung — 31**
- 7      Differentialgleichungen zweiter Ordnung — 35**
  - 7.1      Physikalische Systemumgebungen — 37
  - 7.2      Beispiele zu den Bewegungsgleichungen — 38
- 8      Die Verformungen eines Festkörpers — 54**
  - 8.1      Dehnung und Stauchung am Stab — 55
  - 8.2      Die elastischen Konstanten eines isotropen Körpers — 61
- 9      Elastische, viskose und plastische Materialien — 68**
  - 9.1      Ideal-viskose Fluide — 68
  - 9.2      Visko-elastische Stoffe und Modelle — 70
- 10     Statische Auslenkungen einer vorgespannten Saite — 79**
- 11     Balkenbiegungen — 83**
  - 11.1     Biegelinien — 85
- 12     Schwingungen — 103**
  - 12.1     Das ungedämpfte Federpendel — 103
  - 12.2     Das gedämpfte Federpendel — 106

<b>13</b>	<b>Numerisches Lösen von Differentialgleichungen zweiter Ordnung — 111</b>
13.1	Das Fadenpendel — 113
13.2	Das physikalische Pendel — 114
13.3	Das Torsionspendel — 117
<b>14</b>	<b>Erzwungene Schwingungen — 123</b>
<b>15</b>	<b>Gekoppelte Pendel — 133</b>
15.1	Die Schwebung — 135
15.2	Schwingungstilger ohne Dämpfung — 137
<b>16</b>	<b>Partielle Differentialgleichungen — 142</b>
16.1	Darstellung von eindimensionalen Wellen — 143
16.2	Die Wellengleichung der ungedämpft schwingenden Saite — 145
16.3	Die Bernoulli-Lösung für eine freie Saitenschwingung — 150
16.4	Erzwungene Saitenschwingungen ohne Dämpfung — 161
16.5	Modalanalyse — 165
<b>17</b>	<b>Die Wellengleichung für Longitudinalschwingungen eines Stabs — 173</b>
17.1	Freie Longitudinalschwingungen eines Stabs — 174
17.2	Erzwungene Longitudinalschwingungen eines Stabs — 178
17.3	Die Wellengleichung für Torsionsschwingungen eines kreisrunden Stabs — 183
17.4	Die Wellengleichung für Scher- oder Schubschwingungen eines Stabs — 184
<b>18</b>	<b>Die Gleichung für Biegeschwingungen eines Balkens — 187</b>
18.1	Euler'sche Knicklast ohne Eigengewicht — 191
18.2	Euler'sche Knicklast mit Eigengewicht — 195
18.3	Biegeschwingungen ohne Dämpfung und Last — 199
18.4	Biegeschwingungen ohne Rotationsträgheit und Last — 207
18.5	Biegeschwingungen ohne Dämpfung, Rotationsträgheit und Last — 208
18.6	Freie Biegeschwingungen ohne Rotationsträgheit — 209
18.7	Erzwungene Biegeschwingungen eines Balkens — 215
18.8	Biegeschwingungen mit verteilten Massen — 218
<b>19</b>	<b>Die Gleichung für Schwingungen einer Membran — 224</b>
19.1	Schwingungen der Rechtecksmembran ohne Last — 226
19.2	Erzwungene Schwingungen der Rechtecksmembran — 229
19.3	Schwingungen der Kreismembran ohne Last — 234
19.4	Erzwungene Schwingungen der Kreismembran — 238

<b>20</b>	<b>Die Plattengleichung — 242</b>
20.1	Die Plattengleichung für Rechtecksplatten — 244
20.2	Die Lösung für die allseitig gelenkig gelagerte Rechtecksplatte — 247
20.3	Die Lösung der Plattengleichung für Kreisplatten — 250
20.4	Die Gleichung für Biegeschwingungen einer Platte — 253
20.5	Freie Biegeschwingungen der Rechtecksplatte — 254
20.6	Erzwungene Biegeschwingungen der Rechtecksplatte — 257
<b>21</b>	<b>Wärmetransporte — 261</b>
21.1	Stationäre Wärmeleitung für drei Grundkörper — 262
21.2	Quantitative Erfassung der Konvektion — 267
21.3	Kombination von Wärmeleitung und Konvektion — 267
<b>22</b>	<b>Instationäre Wärmeleitung ohne innere Wärmequellen — 275</b>
22.1	Lösungen der instationären Wärmeleitungsgleichung — 278
22.2	Die instationäre Lösung für die Platte mit Randbedingung 1. Art — 282
22.3	Die instationäre Lösung für die Platte mit Randbedingung 3. Art — 286
22.4	Die instationäre Lösung für die Kugel mit Randbedingung 1. Art — 289
22.5	Die instationäre Lösung für die Kugel mit Randbedingung 3. Art — 293
22.6	Die instationäre Lösung für den Zylinder mit Randbedingung 1. Art — 295
22.7	Die instationäre Lösung für den Zylinder mit Randbedingung 3. Art — 298
22.8	Instationäre Wärmeleitung mit Randbedingung 2. Art — 300
22.9	Die Lösung für die Platte mit Randbedingung 2. Art — 301
22.10	Die Lösung für den Zylinder mit Randbedingung 2. Art — 304
22.11	Die Lösung für die Kugel mit Randbedingung 2. Art — 307
<b>23</b>	<b>Instationäre Wärmeleitung bei nicht konstanter Starttemperatur — 311</b>
<b>24</b>	<b>Näherungslösungen für die Reihenlösung — 315</b>
24.1	Erstes Glied der Reihenlösung — 315
24.2	Der ideal gerührte Behälter — 318
24.3	Der halibunendliche Körper — 322
24.4	Zusammenfügen zweier halibunendlicher Körper — 335
<b>25</b>	<b>Wärmeleitung mit innerer Wärmequelle — 339</b>
<b>26</b>	<b>Wärmeübertragung mit Rippen — 343</b>
<b>27</b>	<b>Wichtige Kennzahlen und Größen der Wärmeübertragung — 348</b>
27.1	Die Nusselt-Zahl — 348
27.2	Die Reynolds-Zahl — 348
27.3	Der hydraulische Durchmesser — 350

27.4	Die Prandtl-Zahl —	352
27.5	Die Nusselt-Zahl für durchströmte Rohre —	352
<b>28</b>	<b>Gleich- und Gegenstromwärmeüberträger —</b>	<b>359</b>
<b>29</b>	<b>Wärmestrahlung —</b>	<b>367</b>
29.1	Strahlungsübertragung —	368
29.2	Kombination von Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung —	372
29.3	Der ideal gerührte Behälter bei Strahlung —	372
29.4	Der ideal gerührte Behälter bei Konvektion und Strahlung —	375
<b>30</b>	<b>Strömungen —</b>	<b>382</b>
30.1	Reibungsfreie Rohrströmungen —	382
30.2	Die Kontinuitätsgleichung —	383
30.3	Die Euler-Gleichung und die Bernoulli-Gleichung —	385
30.4	Die Impulsbilanz am Stromfaden —	396
30.5	Ausfluss- und Entleerungszeiten —	410
<b>31</b>	<b>Wirbelströmungen —</b>	<b>415</b>
31.1	Rotation und Zirkulation einer Strömung —	417
<b>32</b>	<b>Potentialströmungen —</b>	<b>424</b>
32.1	Stromlinien und Stromfunktion —	427
<b>33</b>	<b>Lösungen von Potentialströmungen —</b>	<b>432</b>
33.1	Die erste Grundlösung: Die Translationsströmung —	432
33.2	Die zweite Grundlösung: Die Quellströmung —	432
33.3	Überlagerung von Translations- und Quellströmung —	434
33.4	Überlagerung von Translations-, Quell- und Senkeströmung —	437
33.5	Die dritte Grundlösung: Die Dipolströmung —	441
33.6	Überlagerung von Translations- und Dipolströmung —	442
33.7	Die vierte Grundlösung: Der Potentialwirbel —	445
33.8	Überlagerung von Potentialwirbel und Quell- bzw. Senkeströmung —	446
33.9	Überlagerung von Zylinderumströmung und Potentialwirbel —	447
<b>34</b>	<b>Keil- und Eckströmungen —</b>	<b>450</b>
<b>35</b>	<b>Reibungsbehaftete Rohrströmungen —</b>	<b>453</b>
35.1	Die Bernoulli-Gleichung für reibungsbehaftete Rohrströmungen —	453
35.2	Laminare Strömungen —	455
35.3	Turbulente Rohrströmungen —	458

<b>36</b>	<b>Gerinneströmungen – 1. Teil — 461</b>
36.1	Energielinie und Wasserspiegel bei konstantem Abfluss — 462
36.2	Trennung der Fließarten — 465
36.3	Veränderung der Wassertiefe und Geschwindigkeit bei einer Sohlschwelle — 466
36.4	Die Massen- und Impulsbilanz einer Gerinneströmung — 468
36.5	Der Wechselsprung — 470
36.6	Die Wehrüberströmung — 473
36.7	Die Unterströmung eines Schützes — 478
36.8	Fließformeln — 483
36.9	Bemessungen von Gerinnequerschnitten — 487
36.10	Das Spannungs- und Geschwindigkeitsprofil einer laminaren Gerinneströmung — 488
<b>37</b>	<b>Zusammenfassung der bisherigen Strömungen — 493</b>
<b>38</b>	<b>Die Navier-Stokes-Gleichung — 494</b>
38.1	Analytische Lösungen der Navier-Stokes-Gleichung — 496
<b>39</b>	<b>Die Grenzschichtgleichungen — 535</b>
39.1	Die Grenzschicht einer parallel angeströmten Platte — 538
39.2	Die Herleitung der Grenzschichtgleichungen — 542
39.3	Die Lösung der Grenzschichtgleichungen für eine parallel angeströmte Platte — 547
39.4	Die Lösung der Grenzschichtgleichungen für Keilströmungen — 557
39.5	Grenzschichtablösungen — 562
39.6	Die Grenzschichtgleichungen in integraler Form — 567
39.7	Näherung des Geschwindigkeitsprofils durch eine Polynomfunktion — 569
39.8	Das Pohlhausen-Profil für Keilströmungen — 571
<b>40</b>	<b>Die Energieerhaltung reibungsbehafteter Strömungen — 577</b>
40.1	Die Herleitung der Temperaturgrenzschichtgleichungen bei erzwungener Konvektion — 579
40.2	Die Dicke der Temperaturgrenzschicht bei erzwungener Konvektion — 583
40.3	Die analytische Lösung der Temperaturgrenzschichtgleichung für $Pr = 1$ , $T_w = \text{konst}$ — 585
40.4	Die analytische Lösung der Temperaturgrenzschichtgleichung für $Pr > 1$ , $T_w = \text{konst}$ — 592
40.5	Die analytische Lösung der Temperaturgrenzschichtgleichung für $Pr < 1$ , $T_w = \text{konst}$ — 597
40.6	Die analytische Lösung der Temperaturgrenzschichtgleichung für $0,1 \leq Pr < 1$ , $T_w = \text{konst}$ — 598

## **XIV — Inhalt**

- 40.7 Die numerische Lösung Temperaturgrenzschichtgleichung — **602**
- 40.8 Die Nusselt-Zahl als Funktion der Reynolds- und Prandtl-Zahl für die Platte — **610**
  
- 41 Freie Konvektion — 614**
- 41.1 Die Grenzschichtgleichungen bei freier Konvektion — **614**
- 41.2 Die Lösung der Grenzschichtgleichungen für die Platte — **616**
- 41.3 Näherung des Geschwindigkeits- und Temperaturprofils durch eine Polynomfunktion — **621**
  
- 42 Turbulente Strömungen — 631**
- 42.1 Die Stabilität einer laminaren Strömung — **632**
- 42.2 Die Beschreibung der Turbulenz — **634**
- 42.3 Die Reynolds-Gleichungen — **636**
- 42.4 Der Mischungsweg von Prandtl — **638**
- 42.5 Geschwindigkeitsprofile einer Plattenströmung — **640**
- 42.6 Geschwindigkeitsprofile einer Rohrströmung — **650**
- 42.7 Reibungswiderstand und Grenzschichtdicke der Rohrströmung — **652**
- 42.8 Reibungswiderstand und Grenzschichtdicke der Plattenströmung — **658**
- 42.9 Die Nusselt-Zahl bei laminarer und turbulenter Strömung — **670**
- 42.10 Die Aufteilung der Energieerhaltung — **676**
- 42.11 Gasströmungen in Rohren — **689**
  
- 43 Gerinneströmungen 2. Teil — 693**
- 43.1 Die Wirbelviskosität und Sohlschubspannung einer Gerinneströmung — **695**
- 43.2 Die universelle Fließformel einer Gerinneströmung — **701**
- 43.3 Die Windschubspannung — **706**
- 43.4 Die Wassertiefe einer Gerinneströmung unter Windeinfluss — **709**
- 43.5 Das Geschwindigkeitsprofil einer Gerinneströmung unter Windeinfluss — **713**
- 43.6 Der Windstau an Ufern und Küsten — **718**
- 43.7 Das Querprofil der Geschwindigkeit — **723**

**Literaturverzeichnis — 731**

**Stichwortverzeichnis — 735**